

技術ノート

PC床版2主I桁橋による合理化の検討

Rationalization of 2I-Girder Steel Bridge with PC-Slab

野村 國勝*
Kunikatsu NOMURA金野 千代美**
Chiyomi KONNO志村 勉***
Tsutomu SHIMURA橋 吉 宏****
Yoshihiro TACHIBANAR. プレマチャンドラン****
R. PREMACHANDRAN小西 哲 司*****
Tetsushi KONISHI

Recently, in Europe, composite girder bridge with two main steel girders and transversely prestressed concrete slab has been found economical solution. In this paper, the results of the investigation of slab thickness and effectiveness of composite structure because of reduced number of main girders, and the other problems encountered in planning and design of this kind of bridges are discussed.

Keywords : Rationalization, 2I-Girder Bridge, PC-Slab

1. はじめに

広幅員のプレストレストコンクリート床版(以下、PC床版と略す)を鋼2主I桁で支持する合成桁形式は、最近、その経済性および合理性から、ヨーロッパを中心に脚光を浴びている橋梁形式である。この2主I桁橋の利点は、主桁本数を少なくすることにより、鋼重に加えて部材数や溶接延長を低減でき、製作工数の低減や現場作業の効率化を図ることができることにある。また、PC床版をプレキャスト化すれば、現場作業の大幅な省力化と工期短縮も期待できる。

本文は、2主I桁橋における床版厚の検討や、主構造における主桁本数の低減や合成桁とした場合の効果を試設計の結果から定量的に把握するとともに、2主I桁橋の課題について述べ、計画および設計における検討資料を提供するものである。

2. 試設計における検討条件

主構造における主桁本数低減や合成桁とした場合の効果を定量的に把握するために、以下に示す非合成4主I桁橋、非合成2主I桁橋、合成2主I桁橋について試設計を行い、これらの鋼重、部材数、溶接延長について比較検討を行った。

ここで、一部材一断面として断面変化は添接位置にて行い、対傾構はすべてフルウェブ横桁として合理化を図った桁構造を「合理化桁」と称し、現行橋梁の非合成4

主I桁橋以外は、合理化桁により試設計を行った。



試設計の対象とした橋梁は、4×51.4m=205.6mの4径間連続桁橋であり、標準的な高速道路橋である(図-1参照)。検討条件として、活荷重に対してはTL-20, TT-43を用い、道路橋示方書(以下「道示」と略す)・鋼橋編、道路公団設計要領2集を適用して試設計を行った。

3. 床版厚について

床版厚は、その耐力および耐久性のみならず、死荷重および本体鋼重に影響を与えるため、設計における重要な要素となる。上述の比較検討を行うにあたり、2主I桁橋では床版支間が大きくなるため、PC床版とする必要がある。本検討では、橋軸直角方向のみにプレストレスを導入する1方向PC版を想定し、その床版厚について考察を行った。

(1) 床版厚に対する考え方

道示・鋼橋編では、PC床版そのものに対する規定はなく、道示・コンクリート橋編では、支間6.0mまでのPC床版に対する床版厚および設計曲げモーメントの規定を設

*川田工業(株)取締役技術本部長 **川田工業(株)技術本部技術部次長 ***川田工業(株)技術本部技術部設計一課係長 ****川田工業(株)技術本部中央研究室係長
*****川田工業(株)技術本部中央研究室 *****川田建設(株)工事本部技術部技術二課係長

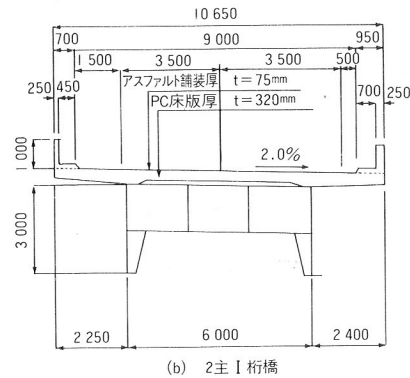
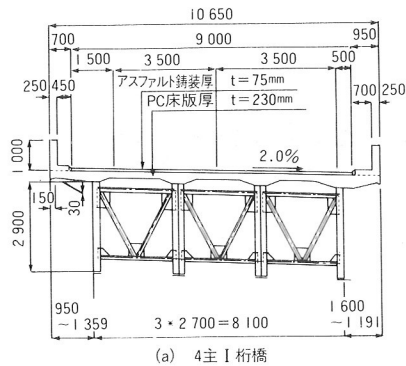


図-1 検討断面

けている。これらの床版厚の規定は、RC床版でひびわれ進行後もせん断に耐え得るような床版厚を設定しており、RC構造を前提に経験的に決定されたものである。

道示の規定によると、たとえば床版支間6.0mの1方向PC版に対して、連続版で26cm、単純版では32cmである。PC床版ではRC床版に比較してせん断耐力が大きく、これらの道示の規定には必ずしも明確な理由が与えられているとは思えない。そこで、ここではPC構造として力学的に必要な床版厚を明らかにして、また床版厚が本体鋼重に及ぼす影響も調べて、床版厚の決定を行った。

(2) 床版厚の検討

力学的に必要な床版厚は、フルプレストレスの軸力配置による設計で、床版厚と床版支間とを変化させた場合について、道示、道路公団設計要領2集に準じ、曲げに対する応力照査により調べた。なお、押し抜きせん断に対する照査はPC構造であり、道示における最小床版厚16cm以上の範囲での検討であることから省略した。その結果を、図-2に示す。

一方、床版剛性は床版厚の3乗に比例し、床版厚はたわみやすさに大きく影響する。昭和40年代に建設されたI桁橋で、主桁と横桁の取り付け部で、疲労による亀裂損傷が多く観察され、その1つの原因が、床版の変形に起因する主桁上フランジの首振りによる影響であると報告されている。しかし、昭和48年の道示の改定で床版厚が増加して以来、損傷事例はほとんど報告されていない。

ここで、首振り量に対する1つの指標とするために、床版の支点回転角に着目し、昭和39年の道示による標準

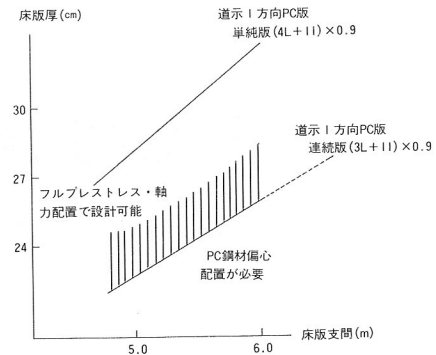


図-2 設計可能範囲と道示との比較
($\sigma_{ca}=170\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{ca}'=0\text{kgf/cm}^2$ の場合)

表-1 支点回転角と床版厚

床版支間 L (m)	床版厚 t (cm)	載荷状態	ヤング率 ($\times 10^4\text{kg/cm}^2$)	床版中央たわみ (mm)	支点回転角 ($\times 10^{-3}\text{rad}$)	備 考
3.85	18		2.7 (旧示方書 $\sigma_{ca}=240\text{kg/cm}^2$ に対応)	2.09 (1/842)	1.83 (1.00)	旧示方書標準設計。疲労による亀裂損傷が報告されている。
3.00	23		2.7 (48示方書 $\sigma_{ca}=240\text{kg/cm}^2$ に対応)	0.52 (1/5769)	0.65 (0.36)	昭和48年示方書による床版厚。疲労による亀裂損傷はほとんど報告されていない。
6.00	26		3.3 (新示方書 $\sigma_{ca}=500\text{kg/cm}^2$ に対応)	2.64 (1/2273)	1.49 (0.81)	フルプレストレスによる軸力配置で設計可能な最小版厚。
6.00	32		3.3 (新示方書 $\sigma_{ca}=500\text{kg/cm}^2$ に対応)	1.42 (1/4225)	0.80 (0.44)	

解析は、FEMによる。短辺:長辺=1:3、ポアソン比は0.16で解析。
旧示方書:昭和39年。新示方書:平成2年。

設計、改定後の昭和48年の道示による標準設計、床版支間6.0mの床版について比較した結果を、表-1に示す。

フルプレストレスによる軸力配置で設計可能な最小版厚26cmの支点回転角は、疲労による亀裂損傷が報告されている昭和39年の道示による標準設計の、それに近いことがわかる。

したがって、床版剛性が小さいと取り付け部の構造詳細に対する工夫が特に重要になり、逆に床版剛性を大きくすると取り付け部に対する負担が小さくなることがわかる。床版支間6.0mに対する道示の規定値32cmは、応力的にはかなり余裕があり床版厚は低減できるものと考えられる。一方、首振り量に対する床版剛性を考慮した場合、むやみに小さくするのは好ましくないと思われる。

また、床版厚の増加が鋼重に及ぼす影響を調べたために、非合成2主I桁橋を対象に、床版厚を変化させて概略設計を行った。その結果を表-2に示す。この表から、

表-2 床版厚を変化させた場合の鋼重比較

床 版 厚	32 (cm)	26 (cm)
鋼 重	434.8 (t) (100%)	418.8 (t) (96.3%)

(4@51.4m=205.6m)

床版厚の増加は鋼重の増加にそれほど敏感ではないことがわかる。

以上の検討から、4主I桁橋、2主I桁橋ともに、床版厚は道示の規定に準じ、それぞれ23cm、32cmで試設計を進めることにした。

4. 試設計による合理化の検討

非合成4主I桁橋、非合成2主I桁橋、合成2主I桁橋について試設計を行った。その断面諸量と活荷重たわみを、表-3に、鋼重、部材数、溶接延長（大型材片T継手および板継手）を、図-3～6に示す。

表-3に示した活荷重たわみを比較すると、非合成桁で4主I桁橋と2主I桁橋では、2主I桁橋のほうが小さくなっている。これは桁高の相違にもよるが、曲げ剛性が2主I桁橋の方が4主I桁橋よりも大きいことによる。

図-3に示した鋼重の比較から、対傾構はすべてフルウェブ横桁、断面変化は添接位置とした合理化桁を用いれば鋼重は増加するが、それでも合理化桁を用いた2主I桁橋は従来の4主I桁橋に比べ、鋼重で12%減少できることがわかる。なお、2主I桁橋の合成桁の設計では、中間支点上の床版を鉄筋のみで抵抗するよう評価する方向で設計を行った結果、非合成桁に比べ11%鋼重が減少した。合成桁については、設計法や施工法によって、さらに鋼重低減が期待できるものと考えられる。

図-4に示した部材数では、2主I桁橋は従来の4主I桁橋に比べ47%の減少であった。特に、部材の中でも横構は、全体の部材数に占める割合が大きく、4主I桁橋では46%、2主I桁橋では59%が横構である。文献1)では、4主I桁橋について横構省略による荷重分配を検討し、横構省略に対する安全性を確認した結果を報告している。したがって、2主I桁橋についても横構を省略することができれば、大幅な合理化につながると思われる。

図-5、6に示した溶接延長については、合理化桁では大型材片の板継手箇所がゼロである。また、2主I桁橋では主桁の数が減るためにT継手の溶接延長は少なくなり、従来の4主I桁橋に比べ29%減少した。

以上の試設計の結果から、定量的に2主I桁橋の優位性について説明することができた。なお、合成桁橋については、中間支点上床版の引張への対処方法に検討を要し、その構造および設計法、また施工性などを含めて比較する必要があるために、ここでは、その比較検討は省略する。

5. 2主I桁橋に対する課題

以上に示したように、2主I桁橋は、鋼重の減少に加え、部材数や溶接延長が減少するため、製作および架設面から、大幅な合理化が可能である。一方、2主I桁橋に

表-3 断面諸量

	単位	4主I桁	4主I桁 (合理化桁)	2主I桁 (合理化桁)	2主I合成桁 (合理化桁)
桁高	mm	2 900.0	2 900.0	3 000.0	3 000.0
床版		RC	RC	PC	PC
床版厚	mm	230.0	230.0	320.0	320.0
最大板厚	mm	32.0	32.0	45.0	45.0
材質		SM490Y	SM490Y	SM490Y	SM490Y
活荷重たわみ	mm	63.7	63.7	58.8	27.6
許容たわみ	mm	102.8	102.8	102.8	102.8

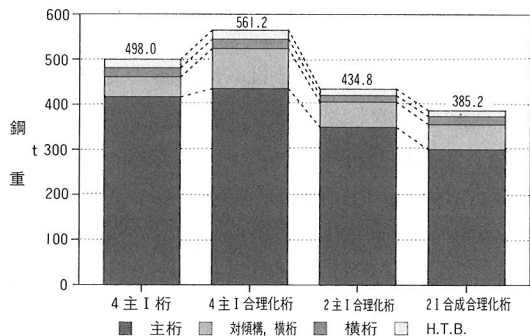


図-3 鋼重比較

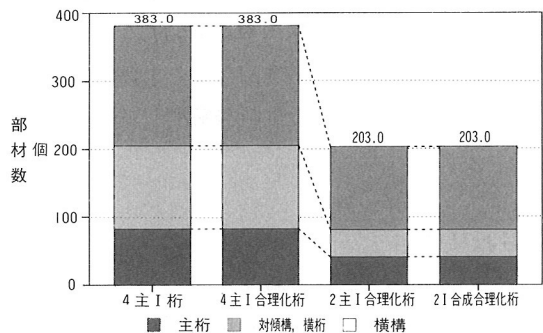


図-4 部材数比較

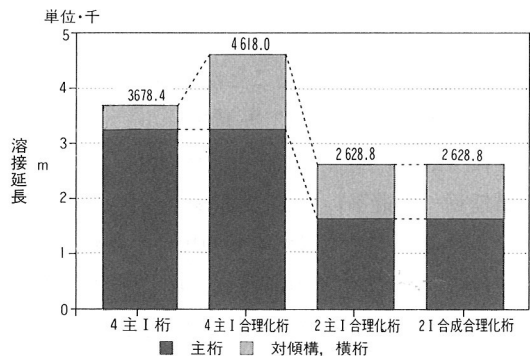


図-5 溶接延長比較(大型材片T継手)

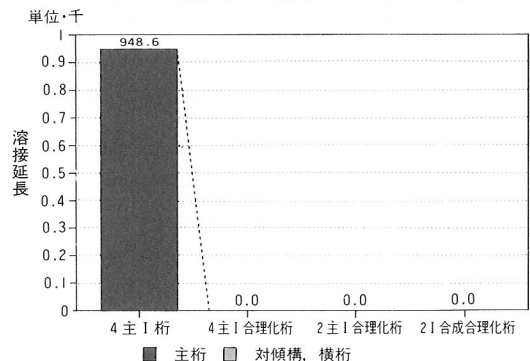


図-6 溶接延長比較(大型材片板継手)

についてはねじり剛性が小さいこともあり、その全体挙動に不明解な要素もある。床版や横桁は全体のねじり剛性に寄与するため、床版や横桁あるいは補剛材には付加的な断面力が発生する。これらの付加的な断面力に対して損傷が生じないように、構造の検討や設計方法の検討が必要である。

また、前章では、横構を省略することにより大幅な合理化が図れることを示した。しかし、道示によると、支間25mを超えるI桁橋には横構を設けることを規定しており、横構省略による安全性を確認する必要がある。

これらを検討する一方法として、FEM立体解析による方法が挙げられる^{1)~3)}。図-7は、地震時の変形を、従来のように横構を配置したものと、配置しないものを対象に、FEM立体解析を行った一例を示した図である。この図は3径間連続I桁橋の場合であり、水平荷重として風荷重を含めて、横構省略により応力的に問題のないことを文献²⁾で報告している。

以上のような横構を省略する場合の変形や力の流れの把握をはじめ、横桁およびスチフナーの構造特性や取り付け部の疲労検討、床版に作用する付加的な応力度の把握などの検討課題に対して、FEMによる全体解析や部分解析、あるいは各種試験により今後解明してゆく必要があるものと考えられる。

6. おわりに

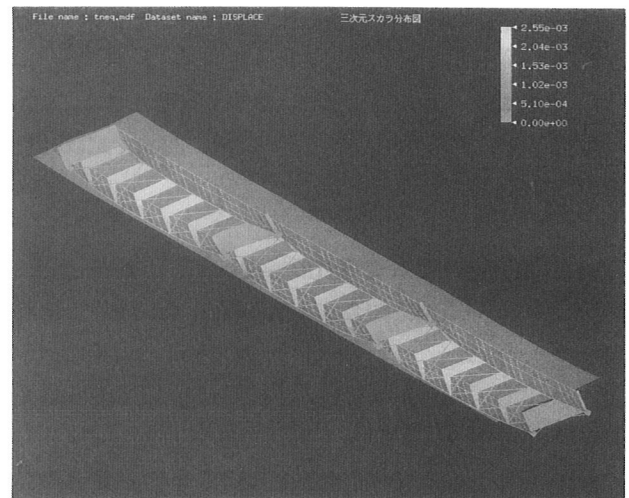
本報告では、主桁本数を低減することによる合理化の検討について、主に述べた。その結果として、現行の非合成4主I桁橋と合理化桁を用いた非合成2主I桁橋の比較をまとめると、以下のようになり、定量的に2主I桁橋の優位性について説明することができた。

鋼	重	12 %減少
部	材 数	47 %減少
溶接延長 (T継手)		29 %減少

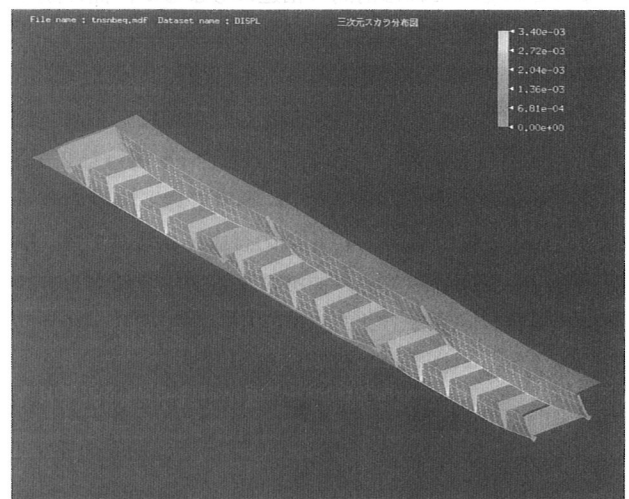
また、床版については、PC床版使用による耐久性の向上、主構造については、活荷重たわみの減少や塗装面積の減少、厚板使用による錆に対する抵抗性の向上など、耐久性の観点からも2主I桁橋の利点は多い。

このような合理化に加え、床版工については、今後の熟練技術者の減少および高齢化、労務費の高騰により、現地工事の困難性と安全性などを考慮した技術開発や耐久性の向上に対するニーズがあり、現在の現場打ち床版から、今後は、機械化による省力化施工やプレキャスト床版の使用が避けられないと考えられる。

また、ヨーロッパでは主流となっている合成桁橋についても、経済性の観点から、今後、その是非について議論してゆく必要があるものと考えられる。したがって、これらについても並行して検討していかねばならない課



(a) 横構あり



(a) 横構なし

図-7 地震時の変形(水平震度0.2, 単位m)

題であるといえる。

最後に、本報告をまとめるにあたり、多大なるご指導をいただいた、日本道路公団・酒井秀昭氏、ならびに高橋昭一氏に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会；構造物の立体挙動と設計法，JSSCテクニカルレポート，No.21，1992。
- 2) 酒井，橘，志村，小西；水平荷重を受けるPC床版2主桁橋の挙動について，第48回土木学会年次学術講演会講演概要集，1993。
- 3) R. プレマチャンドラン，橘，志村，金野，野村；Cross Frame Action in Two Girder Supported Bridge，第48回土木学会年次学術講演会講演概要集，1993。